

UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
METROPOLITANA
del Estado de Chile

Informe de análisis de la evolución de los datos de material particulado PM 10 registrados por estaciones de monitoreo de la ciudad de Andacollo en el marco del Plan de Descontaminación (PDA)

Autor:

Luis Pouchucq Marinkovic

Dr. en Ciencias Biológicas

Académico del departamento de Biotecnología

Universidad Tecnológica Metropolitana

Santiago- Chile.

Santiago de Chile - enero de 2019

Introducción

Andacollo es una ciudad ubicada en la cuarta región , provincia del Elqui que ha sido históricamente minera. Desde épocas precolombinas ya se extraía oro en lavaderos. Posteriormente de la llegada de la colonización española Andacollo se convierte en un centro minero, donde la tradición pirquinera nace y permanece hasta los días actuales.

En las últimas décadas del siglo veinte ingresaron empresas de la mega minería con grandes proyectos mineros de explotación cobre y oro. Una de estas mega empresas mineras es la canadiense Teck, socia mayoritaria de la minera Carmen de Andacollo. Con la entrada de la minera Teck comienza una situación de tensión y conflictividad social que derivó en las primeras protestas hacia fines de la década de los noventa (Pouchucq y cols 2017). Hacia la primera década del siglo veintiuno, las protestas se reavivan y dan pie para que la comuna de Andacollo sea decretada zona saturada de contaminación en el decreto DS N°8 del 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Este estatus de zona saturada permite al gobierno realizar acciones de gestión, dado que este es una condición necesaria para la elaboración de un plan de descontaminación.

Se han realizado varios estudios encargados principalmente al CENMA de la Universidad de chile donde entre otras cosas se establece que el 78 % de la contaminación por material particulado en la comuna era producida directamente por las dos empresas mineras apostadas en el perímetro.

Recién hacia finales de 2014 y principios de 2015 se inaugura y se pone en marcha el Plan de Descontaminación de Andacollo (PDA) establecido en el DS Nº 59 de 2014 del Ministerio del Medio Ambiente, donde se establecen una serie de acciones que deberán tomar la empresa, la autoridad gubernamental y la autoridad municipal para disminuir la cantidad de material en suspensión dentro del perímetro decretado como zona saturada. Entre ellas encontramos: lavado de ruedas, uso de supresores de polvo, pavimentación de caminos, forestación., entre otros.

Una de las acciones más importantes que debe realizar la empresa en el marco del cumplimiento del PDA radica en el control del material particulado producido en las tronaduras (detonaciones de explosivos que liberan el mineral) con medidas de implementación inmediata como: considerar la dirección y velocidad del viento de manera de evitar la llegada de polvo a la ciudad e informar a la población del horario de las tronaduras. Muchas de estas medidas han sido ejecutadas y se mantienen en constante ejecución por parte de la empresa, como mantener la información respecto del cumplimiento de las metas del plan en una plataforma web, el plan de barrido de calles, la pavimentación de caminos y la forestación en un porcentaje. Probablemente en este ultimo ítem exista un mayor retraso.

Después de la puesta en marcha del plan de descontaminación, surgen voces críticas respecto de su eficacia y de la implementación del mismo. Un estudio de percepción de actores claves encargado por la ONG CODECIAM da cuenta de esto; "*los únicos actores clave que evalúan la implementación del PDA de manera satisfactoria son precisamente los actores que no son, ni han sido nunca habitantes de la comuna de Andacollo. Según lo que ellos mismos indican en las entrevistas. Contraponiéndose estas percepciones a las de los habitantes de Andacollo, quienes en su mayoría se muestran insatisfechos con los resultados de la implementación y no perciben mayores cambios en su diario vivir respecto de la calidad del aire, ni reducción de polvo levantado por las tronaduras. Esto a pesar de lo que indiquen las cifras arrojadas por las torres de monitoreo del aire, que muestran un Andacollo que cumple con la norma en valores de MP10 suspendidos en el aire*" (Paredes F y Lara C. 2018).

Dada esta evidente controversia entre la versión oficial del Ministerio del Medio Ambiente y la visión de los actores sociales, se plantea la siguiente pregunta de investigación: **¿será posible encontrar correlaciones en los registros de PM 10 de las estaciones de monitoreo (dentro de la zona urbana de Andacollo) que permitan explicar esta mala percepción de los actores sociales?**. Los datos se encuentran disponibles en la plataforma del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, donde aparecen hasta diciembre de 2018 cuatro estaciones

de monitoreo: Andacollo y Hospital en el centro de la ciudad, ambas con Representación Poblacional, y la estaciones Chepiquilla y El Sauce en las zonas más rurales. Entonces, para responder la pregunta de investigación, nos hemos planteado el siguiente Objetivo general:

Objetivo general

Buscar determinantes y correlaciones en los registros numéricos de material particulado PM10 de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital, que permitan explicar la mala percepción de los actores sociales respecto de la eficacia del Plan de descontaminación de Andacollo PDA.

Objetivos específicos

1.- Generar una base de datos de los valores medidos de PM10 atmosférico de las estaciones de monitoreo Andacollo (MMA) y Hospital (DAYTON) desde la implementación del PDA, ubicados en plataformas de gestión ambiental del Gobierno de Chile (SNCAE).

2.- Realizar meta-análisis de los datos de evolución del material particulado PM10 registrados por las estaciones Andacollo y Hospital, tomando el PDA como hito de referencia temporal.

3.- Revisar la rigurosidad y consistencia de los datos publicados en la plataforma SINCA del MMA para las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital.

Metodología.

Todos los datos horarios de material particulado PM10 desde el 1 de enero de 2015 hasta el 22 de agosto de 2018 fueron descargados desde la página https://sinca.mma.gob.cl/ del Sistema de Información nacional de calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Para el análisis se utilizó la información correspondientes a dos estaciones con representatividad poblacional de monitoreo ubicadas en la ciudad de Andacollo: Estación Andacollo y Estación Hospital, ambas con representatividad poblacional (EMRP). Las características de las estaciones se muestran en la tabla 1.

Por otro lado se descargó la información disponible de las tronaduras realizadas por la empresa Minera Carmen-Teck de Andacollo desde enero de 2015 hasta julio de 2018, desde los "informes mensuales de cumplimiento PDA" disponibles en la página web http://pdaandacollo.teckchile.com/#/

Todos los datos fueron sometidos a una rigurosa revisión visual para evitar problemas de formato presentes en los archivos descargados desde el sistema SINCA, principalmente los datos correspondientes a la estación de monitoreo Andacollo, que presentó viarios problemas de formato. Para los análisis de la estación Andacollo solo se utilizaron los datos declarados como validos por el mismo SINCA, sin embargo, con excepción de los últimos meses de 2018 donde solo se encontraron datos en proceso de validación. En cambio para la estación Hospital, todos los datos utilizados aparecen como no validados. Esta estación dejó de registrar el día 4 de diciembre de 2018 por razones que desconocemos. Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft EXCEL® 2007 y para la confección de los gráficos se utilizó el programa SigmaPlot®11.0.

Como valores de referencia de material particulado se utilizaron la normativa chilena DS N°59 1998 Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el límite de material particulado respirable PM10 en dos normas: Diaria de 150 $\mu g/m^3$ y anual de 50 $\mu g/m^3$. Y las Guía de calidad del aire (CGA) recomendada por la Organización

Mundial de la Salud que establece un límite diario de 50 $\mu g/m^3$ y un límite anual de 20 $\mu g/m^3$ (Guías de calidad del aire OMS - WHO - 2015).

Sin embargo, la misma OMS reconoce que niveles de 150 mg/m3, que el indicado en la normativa chilena como límite superior, "*incrementa en alrededor un 5% de la mortalidad a corto plazo*" y reconoce que un límite de 50 μg/m3 como un nivel máximo es seguro para salvaguardar la salud de la población. Dado lo anterior, durante este informe nos referiremos principalmente a la normativa recomendada por la OMS como valor de referencia.

Resultados

Base de datos de los valores medidos de PM10. Fueron descargados los archivos correspondientes a los datos horarios de las estaciones de monitoreo Andacollo del Ministerio del Medio Ambiente, y la Estación Hospital perteneciente a la Minera Dayton. Ambas estaciones de monitoreo se encuentran muy cercanas entre si, a tan solo metros de distancia como se muestra en la figura 1. Ambas son operadas por la empresa Asesorías Algoritmos Ltda. Ambas realizan mediciones del material particulado atmosférico PM10 mediante el mismo método de Atenuación Beta, todo según se indica en la tabla 1.

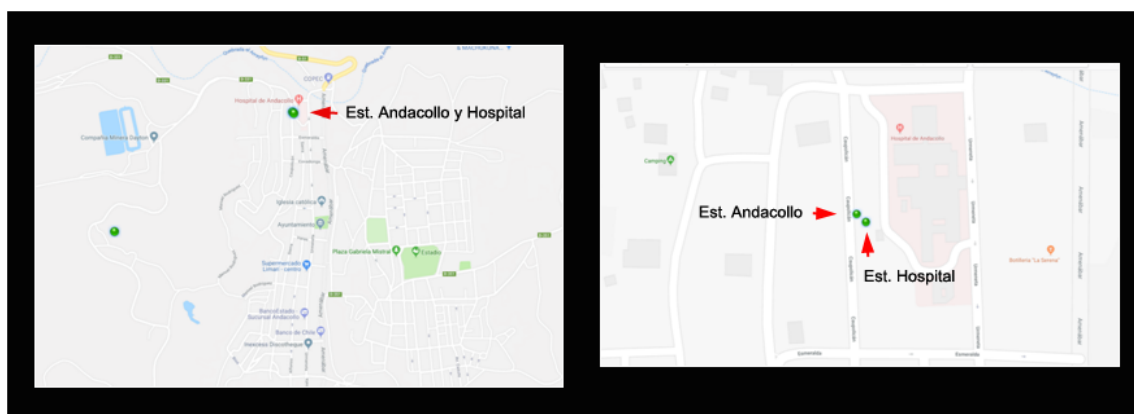


Figura 1. Imagen de los mapas de localización de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital de Andacollo generadas por Google, disponibles en la página del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). Información descargada mes de octubre de 2018.

Tabla 1. Ficha de las estaciones de monitoreo de calidad del aire Andacollo y Hospital presentes en Andacollo

Estación Andacollo		**Estación Hospital**	
Ubicación:	299236 E 6654136 N	**Ubicación:**	299236 E 6654140 N
Propietario:	Ministerio del Medio Ambiente	**Propietario:**	Compañía Minera Dayton
Operador:	Asesorías Algoritmos Ltda.	**Operador:**	Asesorías Algoritmos Ltda.
Tipo de medición:	Atenuación Beta - THERMO 5014i	**Tipo de medición**:	Atenuación Beta
Fuente https://sinca.mma.gob.cl/		Información descargada mes de octubre de 2018	

Se descargó los datos horarios debido a que estos corresponden a los datos "crudos" (sin procesar) provenientes de las estaciones de monitoreo. Dentro de los datos descargados, los correspondientes a la estación de monitoreo del Ministerio del Medio Ambiente presentaron muy frecuentes problemas de formato. Para subsanar esto, todos los datos fueron rigurosamente revisados y sus formatos fueron corregidos cuidando no modificar los valores. Los datos correspondientes a la estación de monitoreo Hospital no presentó el problema anteriormente mencionado, mostrando datos muy ordenados y sin problemas de formato.

En las tablas descargadas de las tres estaciones aparecen tres categorías de datos: Registros validados, Registros preliminares y registros no validados. Para obtener información del proceso de validación de los datos obtenidos por las torres de monitoreo, se realizó la siguiente pregunta al Ministerio del Medio Ambiente bajo el marco establecido en la Ley Nº 20.285 Sobre Acceso a la Información Pública:

"Estimados(as) Sres(as) Ministerio del Medio Ambiente. Quisiera solicitar información acerca del proceso de validación de los datos obtenidos por la estación de

monitoreo de calidad del aire Andacollo, Cuya propiedad es del Ministerio del Medio Ambiente. La pregunta concretamente es: ¿Cuando un dato emitido por la estación Andacollo es considerado válido o no válido en el registro que figura en la plataforma SINCA? Es decir, ¿cual es el criterio para validar los datas? "

Requerimiento ingresado con el folio N° AW002W0003903 (2-2018-0C-1267)

A lo cual se obtiene la siguiente respuesta:

"Al respecto, comunico a usted que se adjunta en formato digital (PDF) "Minuta criterios de validación de material particulado red de monitoreo de calidad del aire Región Metropolitana", en base al procedimiento del Sistema de Calidad, utilizada por el Departamento de Redes de Monitoreo, de esta entidad, para la validación de datos".

en la Carta DJ N° 184564 del Ministerio del medio Ambiente, donde además se adjunta la minuta mencionada, donde aparece el siguiente proceso de validación:

Este proceso contempla tres etapas:

- Validación automática – Instancia LIN: *Consiste en una revisión automática de los datos que realiza el software, donde identifica valores bajo límite inferior configurado, límite superior configurado, dato repetitivo, error de datalogger y asigna un estatus a cada dato (según Tabla N°1) para segunda etapa de validación llamada validación preliminar u operacional.*

- Validación Preliminar u operacional – Instancia VAL: *Segunda etapa en la validación de los datos. Consiste en aceptar, quitar o corregir de la serie de tiempo todos aquellos datos identificados en la etapa anterior o aquellos datos anormales, erróneos o fuera de tendencia que no cumplen los criterios establecidos. Esta tarea se realiza diariamente y debe estar respaldada por algún tipo de evidencia objetiva normalmente adquirida desde información de terreno registrada en las bitácoras. Una vez terminado este proceso, se continúa a la tercera etapa de validación llamada Validación Oficial o Ratificada.*

- Validación Oficial o Ratificada – Instancia RAT: *Corresponde a la tercera etapa y final del proceso de validación y consiste en la revisión de los datos validados preliminarmente (instancia VAL), verificando la aplicación de los criterios establecidos. Difiere de la etapa anterior, principalmente por el mayor periodo de tiempo que se observa, permitiendo identificar de mejor manera cambios o anomalías en las tendencias estacionales o entre estaciones cercanas.*

Según la Minuta, para estas validaciones se deben cumplir una serie de criterios que se especifican en la misma. Sin embargo, quien aplica este procedimiento es un(a) funcionario(a) del Ministerio del Medio Ambiente, quien debe asegurar su cumplimiento, el registro claro de todos los valores y su clasificación según estatus.

Además, la Minuta menciona *que "para efectos de estadísticas posteriores realizadas a partir de estos datos validados, se utilizaran como valor entero, es decir, sin decimales (Criterio establecido en acuerdo con la Superintendencia del Medio Ambiente)"*, lo cual no es cumplido al menos en los registros de la estación Andacollo (perteneciente al MMA), ya que presenta muy frecuentes problemas en el formato de los datos, utilizando hasta cuatro decimales, siendo notoria una desprolijidad en la aplicación de los procedimientos establecidos.

Por otro lado, los datos que aparecen validados hasta la fecha actual (9 de enero de 2019) en la estación Andacollo solo llegan hasta el 15 de mayo de 2018. Los demás datos permanecen en el estatus de datos preliminares y datos sin validar. Esto indica que en más de seis meses los datos no han sido revisados para su validación. Además, los datos que se presentan en la estación hospital al parecer nunca han sido sometidos a proceso de validación alguno, presentándose todos en la categoría "registro no validados".

Análisis de la evolución del material particulado registrado por las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital de la Comuna de Andacollo. En las tablas 2 y 3 se muestran los valores de promedio anual para las dos estaciones de monitoreo en los años

2015 al 2018. Las concentraciones anuales fueron determinadas según lo indicado en el DS N°59 de 1998 que establece norma de calidad primaria para material particulado respirable PM10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. Se puede observar diferencias entre los valores entregados entre ambas mediciones. En promedio, la estación Hospital muestra valores 5 microgramos por metro cubico más que la estación Andacollo.

En cuanto a los valores diarios que sobrepasan la normativa, observamos que en general, la norma chilena, establecida en el DS N°59 de 1998 no es superada por ninguna de ambas estaciones en los periodos analizados, solo siendo superada por tres ocasiones en el año 2015. Sin embargo, cuando nos referimos a los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (GCA), podemos observar que los registros de ambas estaciones los superaron en numerosas ocasiones, siendo el año 2015 cuando mayor cantidad de veces se supera. Es posible observar nuevamente un sustancial aumento en la cantidad de datos que sobrepasan la norma OMS en la estación Hospital respecto de la estación Andacollo. Por último, llama la atención la cantidad de datos faltantes, en especial el año 2016 para la estación Andacollo y 2018 para la estación Hospital.

Tabla 2. Promedio anual de concentraciones de PM10.0 (según la normativa establecida en el DTO 59 de 1998) obtenidos desde la estación Andacollo

Estación de Monitoreo Andacollo (MMA)				
Año	**PM10.0 promedio anual ($\mu g/m^{3)}$**	**Valores diarios 24h sobre la norma chilena (>150 $\mu g/m^3$)**	**Valores diarios 24h sobre la norma OMS (>50 $\mu g/m^3$)**	**Porcentaje de mediciones faltantes.**
2015	53.3 ±26.3	3	150	1.5%
2016	36.9 ±8.2	0	77	4.0%
2017	37.3 ±10.5	0	66	1.6%
2018	34.9 ±5.6	0	35	3.2%

Tabla 3. Promedio anual de concentraciones de PM10.0 (según la normativa establecida en el DTO 59 de 1998) obtenidos desde la estación Hospital. El año 2016 no se cuenta con el registro completo de datos ya que estas estación comienza a operar en mayo de ese año.

Estación de Monitoreo Hospital (DAYTON)				
Año	**PM10.0 promedio anual (μg/m$^{3)}$**	**Valores diarios 24h sobre la norma chilena (>150 μg/m^3)**	**Valores diarios 24h sobre la norma OMS (>50 μg/m^3)**	**Porcentaje de mediciones faltantes.**
2015	SD	SD	SD	SD
2016	42.3±3.9	0	84	0%
2017	38.9±8.6	0	83	2.0%
2018	38.9±10.5	0	66	5.0%

En la figura 2 se muestra la evolución de los promedios de 24 horas obtenidos desde ambas estaciones de monitoreo, Andacollo y Hospital. Para la estación Hospital, la data es incompleta, que entra en funcionamiento solo el 5 de mayo de 2016.

En general para los datos obtenidos en la estación Andacollo se observa una evolución positiva de la contaminación por material particulado, con una fuerte baja entre los años 2015 y 2016, lo cual se ve reflejado en los promedios anuales (Tabla 2). Del mismo modo, entre los años 2016 al 2018 no se observan grandes diferencias, tendiendo a estabilizarse cerca de 35 μg/m^3.

En cuanto a la estación Hospital, los datos que entrega siempre son más elevados que los que entrega la estación Andacollo. También muestran una evolución lenta entre los años 2016 y 2018, tendiendo a estabilizarse cerca de los 39 μg/m^3.

En los gráficos (figura 2) se observa que numerosas veces es sobrepasada la normativa recomendada por la OMS (50 μg/m^3), un total de 328 veces para la estación

Andacollo entre 2015 y 2018. Sin embargo, hay una notoria tendencia a la baja en la estación a Andacollo (tabla 2), pasando de 150 en 2015 a 35 en 2018. Para la estación de monitoreo Hospital en cambio, los datos no aparecen tan alentadores, disminuyendo tan solo de 84 a 66 veces que se sobrepasa la CGA entre los años 2016 y 2018. En cambio, la normativa chilena (150 μg/m^3) es sobreasada tan solo en tres ocasiones el año 2015 en la estación Andacollo.

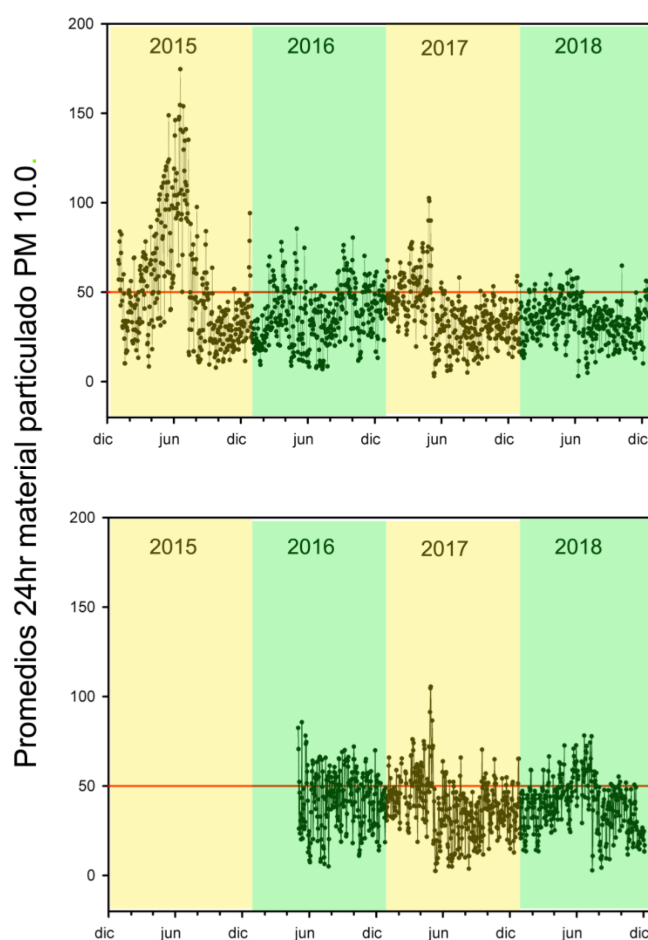


Figura 2. Evolución de los promedios diarios (24hr) de los registros de las estaciones de monitoreo Andacollo (arriba) y Hospital (abajo). Los valores fueron calculados según lo establecido en DTO 59 de 1998 y son informados en unidades de μg/m^3. En línea roja se resalta los límites recomendados por la OMS (50 μg/m^3).

Ambas estaciones de monitoreo (Andacollo y Hospital) toman registro del material particulado cada hora de manera automática, de este modo se genera el registro al cual hemos tenido acceso en la plataforma SINCA del Ministerio del Medio Ambiente. Esto nos permite observar los eventos de contaminación que ocurren a escala menor que 24 horas. Estos eventos aparecen como "peaks" de contaminación relacionados con eventos particulares que pueden mantener material en suspensión durante un par de horas. Estos eventos muchas veces no son reflejados en los promedios diarios, sin embrago, la población es capaz de percibirlos condicionando fuertemente su percepción de la cantidad de contaminación presente. Del mismo modo, los "peaks" de contaminación pueden tener importantes efectos en la salud. Dado esto, en la figura 3 se muestra la evolución de los datos horarios de las dos estaciones de monitoreo, Andacollo y Hospital. Es posible observar que la cantidad de por material particulado registrada en los datos horarios duplican las cantidades que aparecen en los promedios diarios. Los eventos de mayor intensidad aparecen entre los meses de mayo y junio de todos los años estudiados.

Por otro lado es posible observar nuevamente la poca consistencia entre los datos de ambas estaciones de monitoreo, siendo la estación Hospital que siempre muestra valores más elevados que la estación Andacollo.

Se observa que las recomendaciones de la OMS son sobrepasadas constantemente. Entre 2015 y 2018 fueron registrados 8241 eventos sobre los 50 $\mu g/m^3$. En tanto que la normativa chilena también es sobrepasada numerosas veces, acumulándose 550 eventos sobre los 150 $\mu g/m^3$ en el mismo periodo de tiempo.

Solo es posible observar una evolución positiva de los registros en la estación Andacollo, donde la intensidad de los eventos de contaminación y el número de estos que sobrepasa la norma disminuye paulatinamente desde 2015 a 2018. Esto no es tan evidente en los datos registrados en la estación Hospital, lo cual vuelve a poner en relevancia la inconsistencia entre los datos registrados por estaciones de monitoreo tan cercanas en el espacio (tan solo unos metros de diferencia).

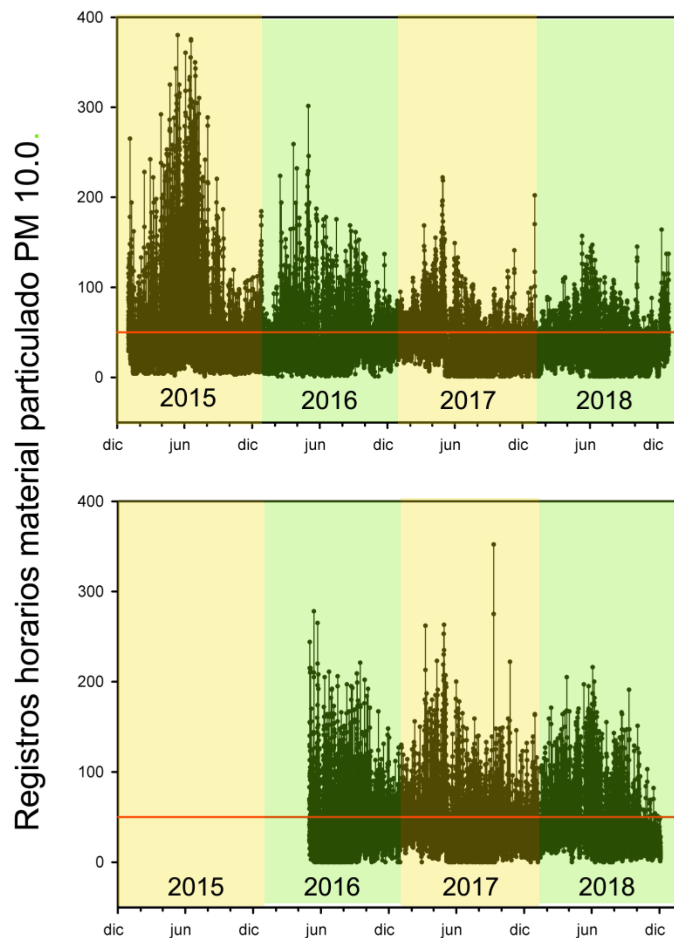


Figura 3. Evolución de los registros horarios de las estaciones de monitoreo Andacollo (arriba) y Hospital (abajo). Los valores son informados en unidades de $\mu g/m^3$. En línea roja se resalta los límites recomendados por la OMS (50 $\mu g/m^3$).

Resulta complicado comprender el escenario de la mala percepción del funcionamiento del PDA desde el análisis directo de datos que no tienen significación en el mundo de la vida de las personas. La percepción de la contaminación cambia por ejemplo según cambia la hora del día. No es lo mismo si los eventos de contaminación ocurren a media mañana que si ocurren a la hora de la merienda. La percepción de afectación por la contaminación aparece más influenciada por el contexto y la intensidad del evento que de la duración de los mismos. Basta con un evento muy intenso de un par

de horas de duración al mes para generar una percepción muy negativa respecto a la gestión ambiental del gobierno y de la empresa, a pesar de que los promedios diarios indican números favorables.

Dado lo anterior, se realizó un análisis temporal de la distribución de los valores de PM 10 durante las horas del día, con la intención de encontrar correlaciones que expliquen la mala percepción de la aplicación del PDA. En la figura 4 se muestra un análisis de la distribución diaria de la contaminación. Aquí salta a la vista que el comportamiento de la contaminación genera dos "peacks" a dos periodos distintos del día. Uno temprano por la mañana, que comienza a las 5:00 y termina cerca de las 10:00 y uno durante el atardecer desde las 17:00 a las 23:00 horas. Estos "peaks" de contaminación diaria, a veces superan los límites recomendados por la OMS y la normativa chilena, según se muestra en la figura 5. Esta distribución temporal de la contaminación probablemente tenga una fuerte influencia sobre la percepción de no mejora asociada al PDA, ya que ocurren en horas muy sensibles del día.

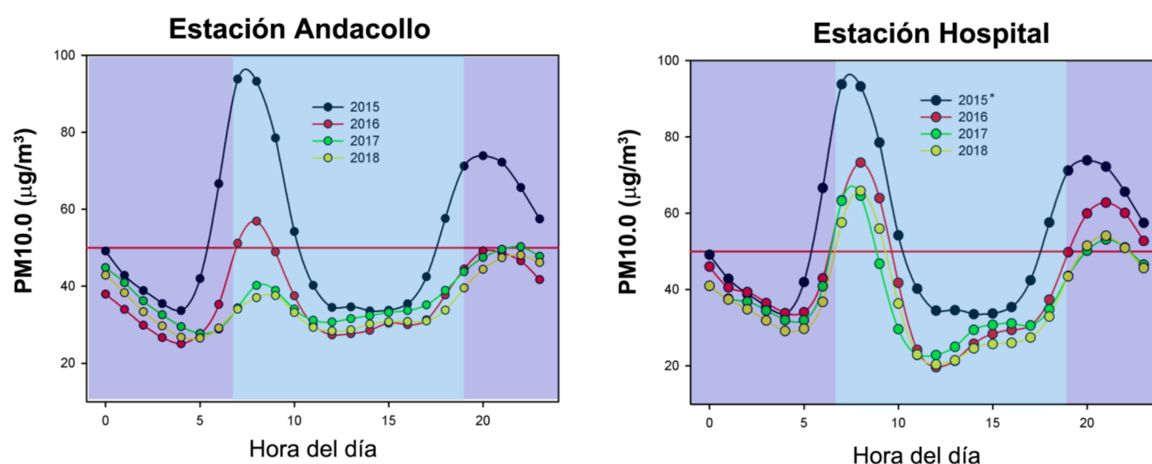


Figura 4. Promedio de la distribución diaria del material particulado en suspensión PM10 obtenido desde los registros de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital. Cada valor corresponde al promedio de los valores registrados a cada horario en particular a lo largo del año. La línea roja indica el límite recomendado por la OMS (50 μg/m^3). *Se incluye la curva de distribución de 2015 de la estación Andacollo en la figura correspondiente a la estación Hospital con fines comparativos.

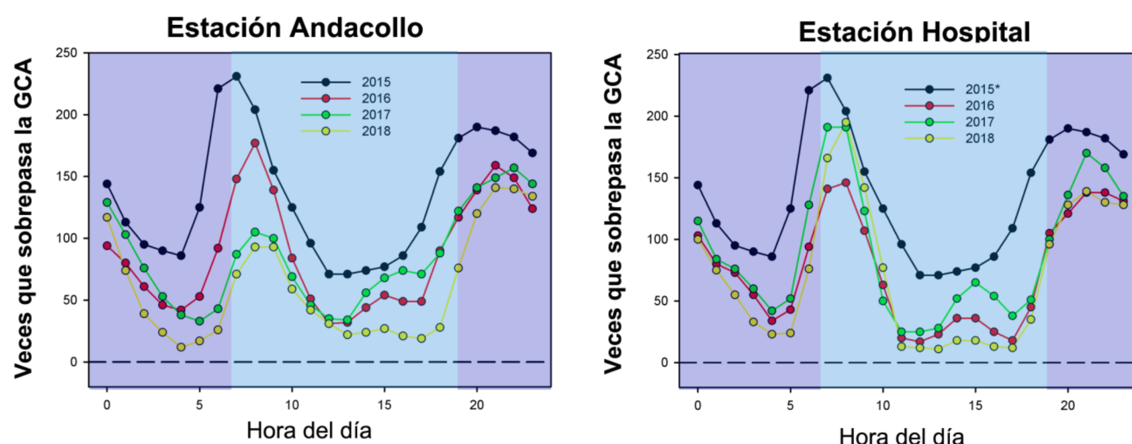


Figura 5. Distribución diaria de los registros individuales donde se supera la GCA de PM 10 recomendada por la OMS (50 $\mu g/m^3$), captados por las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital los años 2015 al 2018. *Se incluye la curva de distribución de 2015 de la estación Andacollo en la figura correspondiente a la estación Hospital con fines comparativos.

Al realizar el análisis anterior logramos percatarnos de que por lo general los datos faltantes en la estación Andacollo, que alcanzan al hasta el 4% del total de los datos el año 2016, se encontraban concentrados mayormente en ciertas horas del día. En la figura 6 se muestra la distribución diaria de los datos faltantes y efectivamente en la estación Andacollo los datos faltantes de concentran entre las 7 y 13 horas para todos los años analizados con excepción de 2018 que muestra una tendencia más amplia, según se muestra en la figura 6. Es notable que en la estación Hospital los datos faltantes se distribuyen uniformemente durante las horas del día, de una manera más concordante con eventos de paro del instrumental, reparaciones y/o mantenciones. No es posible explicar porqué en la estación Andacollo faltan registros aislados, eventos que además aparecen con una clara tendencia en ciertas horas del día. Esto podría evidenciar intencionalidad al momento de ingresar o no ingresar los datos en la plataforma SINCA.

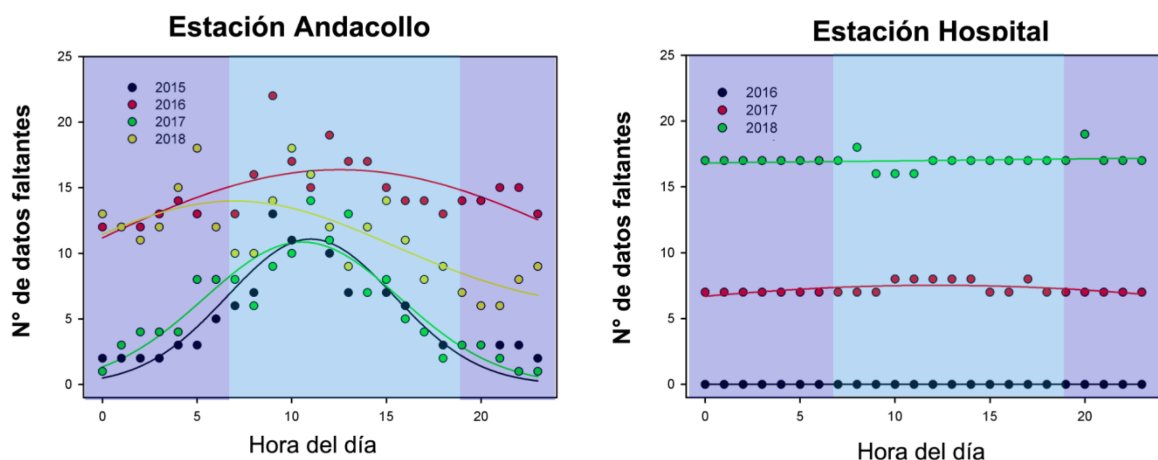


Figura 6. Distribución temporal diaria de los datos faltantes en los registros de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital en el periodo 2015 - 2018. En la estación de monitoreo Hospital no se muestran registros del año 2015 ya que entra en funcionamiento en 2016.

Posteriormente quisimos analizar el comportamiento del material en suspensión en relación a los eventos de tronadura realizados en la faena de la Minera Carmen TECK. Para ello obtuvimos las fechas y las horas de las tronaduras desde los "informes de mensual de cumplimiento PDA" que se encuentran disponibles en una plataforma web dispuesta por la misma empresa (ver metodología). Para el análisis tomamos dos horas antes (-2) de cada evento de tronadura y diez horas después del mismo (+10) haciendo un total de 13 horas. Luego graficamos la evolución del material en suspensión en referencia a la hora de la tronadura, la cual fue ajustada al valor cero (0). En la figura 7 se muestran los resultados del análisis, en donde se observa un consistente aumento del material en suspensión luego de cinco horas después de la tronadura. Esto es más evidente en los registros de la estación de monitoreo Hospital que en la estación Andacollo, llegando a un máximo de 60 $\mu g/m^3$ a las 8 horas después de la tronadura el año 2016. En los años 2017 y 2018 este comportamiento es atenuado paulatinamente, probablemente dadas las medidas tomadas en relación al PDA, sin embargo está presente y en la estación Hospital llega a máximos cercanos a los 50 $\mu g/m^3$ entre las 8 y las 9 horas después de la tronadura.

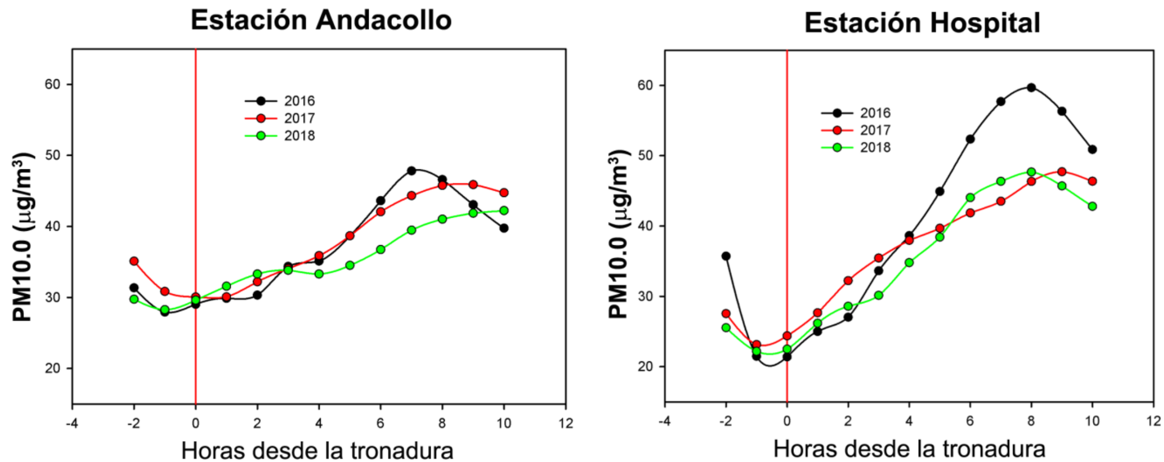


Figura 7. Promedio de la distribución diaria del material particulado en suspensión PM10.0 en relación con los horarios de tronadura, obtenido desde los registros de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital.

En la figura 8 se muestra las veces que es sobrepasada la guía GCA-OMS en relación a los horarios de tronadura declarados por la empresa Teck. Es evidente que la mayor cantidad de eventos que sobrepasan los 50 $\mu g/m^3$ocurren entre las horas 5 y 10 después de la tronadura, llegando a ciento cincuenta veces desde 2016 a 2018 en la estación Hospital. Dados estos resultados junto a los resultados mostrados en la figura 7, es posible argüir que estos eventos de contaminación tienen una directa relación con los procesos de tronadura llevados a cabo por la empresa, ya sea por movimientos de material generados dentro de la misma faena, que levantan material particulado, o bien, que esté relacionado con el régimen de vientos que trae de vuelta el material en suspensión hacia la zona habitada (que está más abajo) horas después de la tronadura.

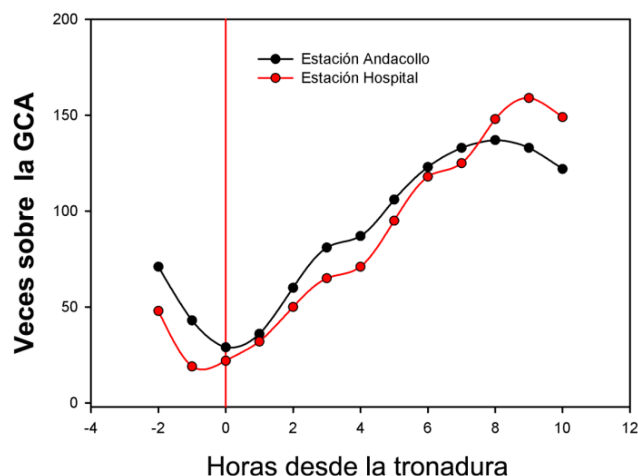


Figura 8. Distribución de los registros individuales donde se supera la GCA de PM 10.0 recomendada por la OMS (50 μg/m^3) en relación a los horarios de tronadura, captados por las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital los años 2016 al 2018.

Por último quisimos analizar la distribución de los datos faltantes en relación a los horarios de tronadura, como se muestra en la figura 9. Podemos observar que en la estación Andacollo, los datos faltantes se concentran principalmente entre la hora cero (misma de la tronadura) y las cuatro horas siguientes. Esto no ocurre en la estación Hospital, donde el numero de datos faltantes se distribuye de manera uniforme a lo largo de las horas que rodean la hora de tronadura. Esto se podría explicar si existiera una relación directa entre las tronaduras y la calidad de los registros que realiza de manera automática el sensor de material particulado de la estación Andacollo, lo cual aparece como un escenario improbable ya que esto no ocurre en la estación Hospital que se encuentran a tan solo metros de distancia. Este resultado nuevamente apunta a cierta intencionalidad al momento de incluir o excluir algún registro en la plataforma SINCA, en especial los registros provenientes de la estación Andacollo dependiente del Ministerio del Medio Ambiente.

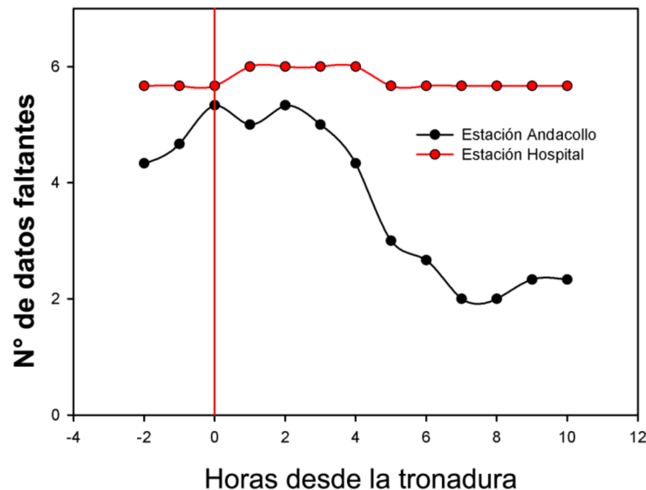


Figura 9. Distribución de los datos faltantes en los registros de las estaciones de monitoreo Andacollo y Hospital en relación al horario de las tronaduras (0), durante el periodo 2016 - 2018.

Conclusiones.

1.- El presente análisis nos permite acercarnos a la comprensión del porqué de la controversia respecto al desempeño del plan de descontaminación de Andacollo. En los resultados presentados resulta evidente que la percepción de la población está influenciada por eventos de contaminación cortos que ocurren periódicamente en la ciudad, lo cual no se ve reflejado en los indicadores numéricos manejados por las autoridades del gobierno. Estos eventos de contaminación aparecen en horas del día significativas para la población, marcando fuertemente la sensación de "no mejora".

Por otro lado, la normativa chilena para material particulado no resulta un buen indicador para medir la mejora, dado que el límite máximo permitido ya es demasiado alto (150 $\mu g/m^3$) y muy perceptible por parte de la población. Para el buen funcionamiento del plan de descontaminación de Andacollo y los demás Planes de Descontaminación de otras localidades, es fundamental la homologación de la normativa chilena (DS N° 59 de 1998) a la normativa recomendada por la OMS (50 $\mu g/m^3$). Además, este resulta el único modo de

que estos planes puedan cumplir eficazmente su misión de salvaguardar la salud de la población.

2.- Existe una evidente desprolijidad en el almacenamiento de los registros provenientes de la estación Andacollo en las plataformas SINCA. Esta desprolijidad no solo tiene que ver con el formato de acceso a los datos y el número de decimales, sino también con situaciones que pueden indicar intencionalidad al momento de incluir o no incluir un registro. Esto último también podría estar relacionado con la evidente incongruencia entre los valores registrados por las dos estaciones de monitoreo, que se encuentran muy cercanas entre sí, siendo la estación Andacollo dependiente del Ministerio del Medio Ambiente la que presenta mayor desprolijidad en su registro y menores valores de PM10 respecto de la estación Hospital.

Se sugiere realizar una auditoría completa al mecanismo de registro de los datos de la estación Andacollo en la plataforma SINCA del Ministerio del Medio Ambiente ya que es posible que el mecanismo establecido en la "*Minuta criterios de validación de material particulado red de monitoreo de calidad del aire Región Metropolitana*" no se esté cumpliendo a cabalidad.

Bibliografía citada

- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2011. *Diagnóstico de calidad del aire y medidas de descontaminación, Andacollo*. Disponible en: http//www.sinia.cl/1292/articles-55362_EstudioAndacollo_CENMA.pdf

- L. Pouchucq, N. Riquelme, D. Fuenzalida, C. Godoy, C. Valdés. 2017. ANDACOLLO DESDE ADENTRO. Historia, percepción, impacto y riesgos en un conflicto socio-ambiental profundo. Disponible en: https://archive.org/details/ANDACOLLODESDEADENTRO

- F. Paredes y K. Lara. 2018. Estudio de Percepción: De los actores claves de la comuna de Andacollo con respecto al Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA). Disponible en: https://archive.org/details/InformePercepcionPDACODECIAM2018